

تعیین مراحل فنولوژی و انباشت سرمایی و گرمایی درخت سیب تابستانه تحت شرایط اقلیمی کرج

غلامعباس فلاح قاله‌ری* - استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری
حمزه احمدی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۴

چکیده

ارزیابی مراحل فنولوژی و انباشت سرمایی و گرمایی درختان میوه براساس شرایط اقلیمی حائز اهمیت است. در مطالعه حاضر زمان رخداد و آستانه‌های دمایی مراحل فنولوژی درخت سیب تابستانه در مقیاس BBCH به صورت میدانی مشخص شد. سپس، با استفاده از آمار دمای ساعتی و روزانه، انباشت سرمایی منطقه براساس کاربست مدل‌های ساعات سرمایی، یوتا، و دینامیکی و انباشت گرمایی براساس کاربست مدل‌های درجه روزهای رشد مؤثر و فعال، و اندرسون و ریچاردسون تعیین شد. نتایج نشان داد که در درخت سیب تابستانه هفت مرحله فنولوژی با طول فصل رشد ۱۳۲ روزه رخ می‌دهد. انباشت سرمایی منطقه براساس مدل CH ۱۰۴۱ ساعت، براساس مدل یوتا ۱۷۱۶ واحد سرمایی، و براساس مدل دینامیکی ۷۶ سهم سرمایی مشخص شد. بیشترین انباشت سرمایی در ماه‌های دسامبر، ژانویه، و فوریه رخ می‌دهد. براساس مدل‌های درجه رشد مؤثر و فعال به ترتیب ۲۲۲۳ و ۳۰۲۶ درجه روز و براساس مدل اندرسون و ریچاردسون به ترتیب ۷۲۰۳ و ۱۲۰۸۶ درجه ساعت رشد (GDH) رخ می‌دهد. کفایت انباشت سرمایی منطقه برای وارسته‌های زودرس مناسب است؛ اما برای وارسته‌های دیررس محدودیت دارد. روند تغییرات افزایشی معنی‌دار در دماهای ساعتی ایام سرد، به‌خصوص دماهای کمینه شبانه، مشاهده شد؛ این شرایط کاهش انباشت سرمایی و ظهور زود هنگام گل‌دهی و افزایش خطر سرما و یخبندان را همراه خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: انباشت سرمایی، انباشت گرمایی، درجه ساعات‌های رشد، فنولوژی.

مقدمه

درک و فهم کاربردهای مختلف شاخص‌های اقلیم کشاورزی زمینه‌ساز استفاده بهینه از منابع در کشاورزی است (بیشنوی، ۲۰۱۰). یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب مناطق مناسب برای کشت محصولات باغی مختلف توجه به انباشت‌های گرمایی و سرمایی هر منطقه است (داربیشر و همکاران، ۲۰۱۱). بیشتر درختان خزان‌کننده برای تکمیل دوره رشد و نمو خود به انباشت سرمایی و گرمایی نیاز دارند. در حقیقت، انباشت سرمایی برای غلبه بر دوره رکود یا خواب و انباشت گرمایی برای گل‌دهی و تغییر فازهای فنولوژی ضروری است (کامپوی و همکاران، ۲۰۱۲). مطالعه رفتار فنولوژیکی درختان میوه به صورت بخشی از تأثیر شرایط محیطی حائز اهمیت است؛ زیرا، برای دستیابی به تولید مطلوب و همچنین تعیین فنون و اعمال مدیریت مناسب‌تر، دانستن مراحل فنولوژی محصول ضروری است (ولنتینی، ۲۰۰۱). در معمول‌ترین حالت، مطالعه فنولوژی درختان میوه تنها رهیافت ممکن برای درک و شناسایی اثرهای آب و هوا بر درختان محسوب می‌شود (رعا و واکسل، ۲۰۰۶). در بین عناصر اقلیمی، مطالعه دما تنها رهیافت لازم برای سنجش

انباشت سرمایی و گرمایی و مطالعه فنولوژی درختان میوه به‌شمار می‌رود. از طریق کمی‌سازی پارامتر دما در هر منطقه می‌توان میزان انباشت گرمایی و سرمایی را مشخص و سپس از طریق آن گونه‌های سازگار را شناسایی کرد (سیسارکیو و همکاران، ۲۰۰۱).

کوایل^۱ (۱۹۲۰) این حقیقت را که جوانه‌های درختان میوه مناطق معتدله به منظور شکستن دوره رکود خود به انباشت سرما نیاز دارند ارائه کرده است (ارز و فیلمن، ۱۹۹۷). به منظور انتخاب گونه‌ها و رقم‌های مناسب درختان میوه برای هر آب و هوایی در هر منطقه مشخص، محققان مدل‌های سرمایی را ارائه کرده‌اند که این مدل‌ها دماهای ثبت‌شده را به صورت کمی‌تی از سرما تبدیل می‌کنند. متخصصان علوم باغبانی چندین مدل مختلف برای تعیین نیاز سرمایی گیاهان توسعه داده‌اند. در میان آن‌ها، سه مدل سرمایی در سراسر جهان بیشتر از بقیه مدل‌ها استفاده می‌شود که عبارت‌اند از: مدل ساعات سرمایی (واینبرگر، ۱۹۵۰)، مدل یوتا (ریچارسون و همکاران، ۱۹۷۴)، و مدل دینامیکی (ارز و همکاران، ۱۹۸۹). مدل دینامیکی تقریباً به عنوان بهترین مدل گسترش یافته است و اغلب به دلیل ساختار تئوریک مستحکم و نیز توانایی آن برای تشریح دیدبانی‌های فنولوژیکی به عنوان یک مدل برجسته مورد استفاده قرار گرفته است (سیسارکیو و همکاران، ۲۰۰۴؛ گیو و همکاران، ۲۰۱۴).

انباشت ساعات سرمایی در اواخر تابستان یا پاییز وقتی که دمای هوا به کمتر از ۷ درجه سانتی‌گراد نزول می‌کند آغاز می‌شود و به صورت تجمع ساعات سرمایی تا جوانه‌زنی (برای گونه‌ها و رقم‌های مختلف چندساله) تعیین می‌شود (سیسارکیو و همکاران، ۲۰۰۴). اولین ارزیابی‌ها از انباشت‌های سرمایی در باغات به وسیله مقایسه داده‌های اقلیمی برای دوره طولانی‌مدت بررسی شده است (ارز، ۲۰۱۳). هرگاه از واحدهای سرمایی (CU)^۲ استفاده شود، ساعاتی که برای شکستن رکود یا خواب وزن داده می‌شود به درجه حرارت بستگی دارد. به طور نمونه، در مدل یوتا (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴) دمای هوای بین ۱٫۵ تا ۱۲٫۴ در رهایی از رکود نقش ایفا می‌کند.

درخت سیب یکی از قدیمی‌ترین درختان میوه خزان‌کننده در جهان است که در شرایط اقلیمی مختلف از سازگاری مناسبی برخوردار است (فرج‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰: ۴۵؛ فری و وارینگتون، ۲۰۰۳؛ ولاشیدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵: ۵۶۱). سیب با نام علمی *Malus Domestica Borks* مهم‌ترین درخت میوه خزان‌کننده در مناطق معتدله به‌شمار می‌رود (ارز، ۲۰۱۳).

اندرسون و همکاران (۱۹۸۵) برای بررسی انباشت سرمایی و گرمایی از آمار دمای ساعتی و برای شناسایی مراحل فنولوژی از بازدهی‌های میدانی استفاده کردند. نتایج نشان داد که دمای هوای ساعتی نقش مؤثری در شناسایی نیاز گونه‌های سازگار نشان می‌دهد. ولنتینی و همکاران (۲۰۰۱) شاخص‌های بیوکلیمایی را برای شناسایی فازهای فنولوژیکی رقم‌های سیب در شمال ایتالیا با رهیافتی میدانی - آماری بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهترین پایه برای تعیین درجه ساعت‌های رشد در درخت سیب ۴٫۴ درجه سانتی‌گراد است. اگا و همکاران (۲۰۰۳) به بررسی انباشت‌های گرمایی و سرمایی رقم‌های مختلف بادام پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از پایان رکود تا گل‌دهی با مدل اندرسون و همکاران ۵۹۴۲ تا ۷۵۷۷ درجه ساعت رشد (GDH) برای بادام لازم است. رعا و اکسل (۲۰۰۶) به وضعیت فنولوژیکی گل‌دهی سیب در مناطق کوهستانی براساس مدل‌های مختلف سرمایی و گرمایی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عوامل توپوکلیمایی نقش مؤثری در تعیین انباشت سرمایی و گرمایی دارد. سورینو و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تعیین انباشت سرمایی زمستانه درخت سیب براساس مدل‌های ساعات سرمایی، دینامیکی، و کارولینیای شمالی پرداختند. نتایج

1. Covile
2. Chilling unit

نشان داد که مدل‌های یوتا و دینامیکی از عملکرد بیشتری برخوردارند. ریوز و همکاران (۲۰۰۷) تعیین نیازهای دمایی و سرمایی رقم‌های زردآلو براساس مدل‌های یوتا و دینامیکی و اندرسون را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که همبستگی بسیار زیادی بین نیازهای سرمایی و تاریخ گل‌دهی وجود دارد. لودلینگ و براون (۲۰۱۱) در تحلیل جهانی سازگاری مدل‌های مختلف انباشت سرمایی برای درختان میوه و آجیلی، مدل دینامیکی را برای مناطق گرم و جنب حاره مناسب دانستند. کامپوی و همکاران (۲۰۱۲) انباشت سرمایی برای سازگاری درخت زردآلو در اقلیم‌های گرم برای مناطق اسپانیا و جنوب آفریقا را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که توان اقلیمی هر منطقه از انباشت سرمایی خاصی برخوردار است و عامل ارتفاع در میزان انباشت سرمایی تأثیرگذار است. گیو و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی انباشت گرمایی و سرمایی درختان میوه در مناطق معتدله پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان انباشت سرمایی در سال‌های اخیر از روند کاهشی معنی‌داری برخوردار بوده است. مالیون و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مدل‌های مختلف برآورد انباشت سرمایی و گرمایی بر روی درختان هلو و شلیل پرداختند. نتایج نشان داد که انباشت سرمایی و گرمایی برای درختان میوه اهمیت بسیار زیادی دارد.

روشن (۱۳۸۶) به بررسی آگروکلیمایی نواحی سازگار با کشت زیتون در ایران پرداخت. نتایج نشان داد که مناطق گرمسیر خوزستان انباشت سرمایی لازم برای درخت زیتون را به قدر کفایت تأمین نمی‌کنند. رضایی (۱۳۹۱) به بررسی نیازهای دمایی شش رقم تجاری زردآلو در منطقه شاهرود در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای پرداخت. نتایج نشان داد که هر وارسته انباشت سرمایی خاصی نیاز دارد و منطقه انباشت سرمایی درختان زردآلو را تأمین می‌کند. خوشحال و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی میدانی مراحل فنولوژی در مقیاس BBCH^۱ و نیازهای حرارتی گل محمدی در منطقه برزک کاشان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که گل محمدی برای تکمیل فعالیت‌های بیولوژیکی خود ۸۶۶/۲ درجه روز مؤثر و ۱۳۳۷ واحد حرارتی فعال در منطقه نیاز دارد. غریبی (۱۳۹۵) به بررسی میزان دریافت واحدهای حرارتی زیتون در منطقه طارم علیا پرداخت. نتایج نشان داد که روند منفی در انباشت سرمایی بر مبنای مدل یوتا وجود دارد و تغییرات کاهشی در واحدهای حرارتی دوره رکود زیتون شاخصی از تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود.

تولید میوه مزیت شناخته‌شده اقتصاد کشاورزی ایران به‌شمار می‌رود. در این میان درختان میوه خزان‌کننده مانند سیب، به سبب مزیت انبارداری بالا و ارزش صادراتی، مورد استقبال باغداران در مناطق کشور است؛ به‌طوری‌که آمار رسمی وزارت جهاد کشاورزی نشان داد که فقط میوه سیب با تولید ۳/۰۵ میلیون تن ۱۹/۱۱ درصد از کل تولید محصولات باغی را به خود اختصاص می‌دهد (آمارنامه محصولات باغی، ۱۳۹۲: ۷). امروزه، با توجه به محدودیت منابع و همچنین تهدید پدیده تغییر اقلیم، ضروری است، در جهت توسعه پایدار کشاورزی، گونه‌های سازگار با اقلیم هر منطقه از طریق واکاوی عناصر اقلیمی در بلندمدت ارزیابی شود. سنجش توان اقلیمی هر منطقه برای تعیین انباشت سرمایی و گونه‌های سازگار اولین قدم در این راه است. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف تعیین مراحل فنولوژی و برآورد انباشت سرمایی و گرمایی درخت سیب تابستانه به عنوان الگویی برای درختان میوه در شرایط اقلیمی کرج انجام شده است.

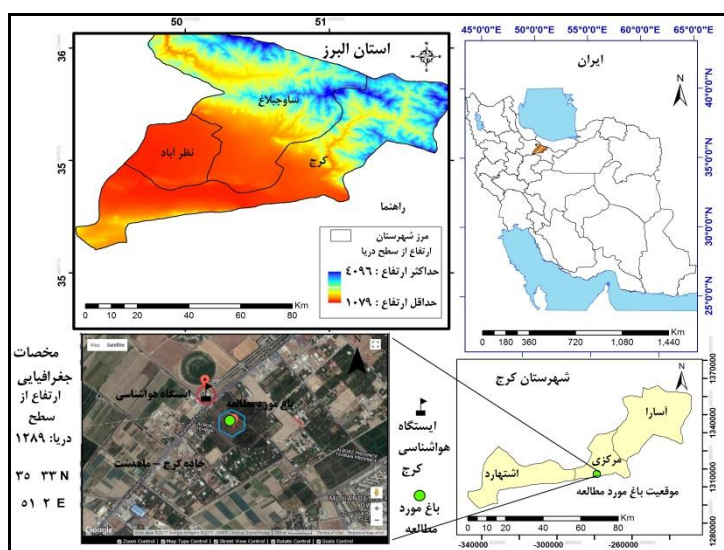
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به صورت میدانی- آماری از نوع تحقیقات کاربردی به‌شمار می‌رود. در بخش میدانی، به منظور شناسایی زمان رخداد مراحل فنولوژی و آستانه‌های دمایی، به سلسله بازدیدها و یادداشت‌برداری‌های روزانه و هفتگی به صورت

متوالی در فصل رشد و نمو درخت سیب تابستانه به صورت میدانی اقدام شد. بدین منظور، یک باغ تجاری بارور با سطح زیر کشت مناسب از درختان سیب تابستانه انتخاب شد. مجموعه باغ مورد مطالعه در استان البرز، شهرستان کرج، جاده کرج- ماهدشت در مجاورت ایستگاه هواشناسی کرج واقع شده است. باغ مورد مطالعه در فاصله ۱۰۰۰ متری از ایستگاه هواشناسی همدید کرج قرار دارد. این باغ تجاری در موقعیت ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲ دقیقه طول شرقی، و ارتفاع ۱۲۹۸ متر از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی، شرایط طبیعی، و ریخت‌شناسی باغ مورد مطالعه کاملاً با ایستگاه هواشناسی همدید کرج همخوانی دارد. منطقه مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی دمارتن و کوپن به ترتیب از اقلیمی نیمه‌خشک و نیمه‌خشک گرم (BSK) برخوردار است. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه ۲۵۱/۸ میلی‌متر، میانگین کمینه‌های دما، میانگین بیشینه‌های دما، و میانگین سردترین دماهای مطلق به ترتیب ۸/۸، ۲۱/۳، و ۱۰- درجه سانتی‌گراد است. در بخش آماری، از آمار بلندمدت دمای هوا به صورت سه‌ساعته و روزانه ایستگاه همدید کرج استفاده شد. آمار لازم از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۳، از سازمان هواشناسی کشور و اداره هواشناسی استان البرز تهیه و تنظیم شد.

در فرایند اجرای مشاهدات میدانی، با کمک کارشناسان باغبانی از مجموعه یک هکتاری از درختان سیب، چهار درخت سیب گلاب کهزن به عنوان وارثه زودرس بومی ایران در مناطق مختلف باغ مشخص شد. از هر درخت چند شاخه با سیخک‌های آشکار و سالم در میانه درخت مشخص و علامت‌گذاری شد. سپس، از زمان پایان رکود سال گذشته و آغاز تورم جوانه تا شروع دوره رکود سال جدید، مراحل فنولوژی و شرایط دمایی در گداهای اصلی و فرعی در مقیاس BBCH با بازدیدهای روزانه و هفتگی ثبت شد. در فرایند بازدید میدانی وضعیت فنولوژیکی درختان با همدیگر بررسی و مقایسه شد و در آخر تاریخ نهایی و آستانه دمایی برای هر مرحله ثبت شد.

سیستم کُندبندی BBCH، به صورت کُد دورقمی، معیار استاندارد برای مراحل نمو گیاهان و درختان میوه به‌شمار می‌رود (کورنیلوس، ۲۰۱۱). این مقیاس دارای یک جدول صدقسمتی به صورت کُدهایی از ۰ تا ۹۹ بوده و برای فازهای مختلف طراحی شده است. در دهه‌های گذشته مقیاس BBCH به صورت یک سیستم کُدگذاری دهگانی برای محصولات چوبی و گیاهان علفی بوده است (فدون و همکاران، ۲۰۱۵؛ خوشحال و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و باغ مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان)

به منظور ارزیابی انباشت گرمایی منطقه از کاربست مدل‌های درجه روزهای رشد مؤثر و فعال و مدل‌های درجه ساعت‌های رشد اندرسون و ریچاردسون استفاده شد. برای بررسی انباشت سرمایی از کاربست مدل‌های ساعات سرمایی (CH)^۱، واحدهای سرمایی (UTAH)، و دینامیکی یا بخش‌های سرمایی (CP)^۲ استفاده شد. تشریح هر یک از مدل‌ها در ادامه بیان شده است. از آزمون ناپارامتری من-کندال^۳ برای بررسی روند تغییرات دمای ساعتی استفاده شد. روش من-کندال، که به‌طور گسترده در مباحث علوم محیطی و هواشناسی کاربرد دارد، یکی از روش‌های ناپارامتری مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی به‌شمار می‌رود (سبزی‌پرور و شادمانی، ۱۳۹۰: ۸۲۴).

مدل‌های تعیین انباشت گرمایی

روش‌هایی که امروزه در پیش‌بینی محصول و تعیین مراحل فنولوژی محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند بسیار متعدد و متفاوت‌اند. با این حال، محور این روش‌ها کمی‌سازی دمای هواست که به صورت درجه روزها و درجه ساعت‌های رشد مشخص شده‌اند.

مدل‌های درجه روزهای رشد مؤثر و فعال^۴ (GDD)

برای تعیین مجموع دمای مؤثر دمای آستانه از میانگین دمای هوا کسر می‌شود (جکسون، ۱۹۹۹). در این شاخص میانگین درجه حرارت روزانه از آستانه دمای پایه (صفر فیزیولوژیک) تا تکمیل ضریب حرارتی آن گونه درختی مورد نظر محاسبه می‌شود. رابطه^۱، روش محاسبه درجه روز را نشان می‌دهد. در درجه روزهای رشد فعال میانگین دمای هوا بدون کسر شدن از دمای پایه به صورت تجمعی محاسبه می‌شود (مک مستر و ویلهلم، ۱۹۹۷). این روش‌ها، با وجود پیشرفت‌های متعدد علوم محیطی، همچنان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تعیین نیاز حرارتی لازم برای کشت محصولات مختلف و همچنین تعیین مکان مناسب برای رقم‌های مختلف درختان میوه در دنیا به‌شمار می‌روند (گیو و همکاران، ۲۰۱۴).

$$GDD = \sum_i^N \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \right] - T_{BASE} \quad (1)$$

در این رابطه، GDD معرف درجه روز است که طی N روز جمع‌آوری شده است، T_{\max} بیشینه درجه حرارت روزانه، T_{\min} کمینه درجه حرارت روزانه، T_{BASE} درجه حرارت پایه یا صفر فیزیولوژیکی گیاه، و N تعداد روزها در یک زمان مشخص را نشان می‌دهد.

مدل‌های تعیین درجه ساعات‌های رشد^۵ (GDH)

درجه ساعات رشد به صورت تعداد ساعات گرمایی مورد نیاز برای شکوفایی جوانه‌ها یا گل‌دهی بعد از تأمین نیاز سرمایی در درختان میوه معرفی شده است (زنگ و تیلور، ۲۰۱۱). روش‌های مختلفی برای تعیین درجه ساعات‌های رشد ابداع شده که در زیر به آن‌ها اشاره شده است.

1. chilling hours
2. chilling portion
3. mann- kendal
4. Growing Degree Day
5. Growing degree Hours

مدل آندرسون و همکاران (۱۹۸۶)

مدل آندرسون و همکاران (۱۹۸۶) یکی از مدل‌های عمده برای تعیین انباشت گرمایی به‌شمار می‌رود (گیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). در این مدل فرض می‌شود که انباشت گرمایی هنگامی رخ می‌دهد که درجه حرارت ساعتی (T_i) در دامنه‌ای بین دمای پایه (T_b) و دمای بحرانی (T_c) یا آستانه بالا برای رشد گیاه و بیشینه انباشت گرما در دمای بهینه گیاه (T_o) قرار بگیرد. تابع لازم برای محاسبه GDH در رابطه ۲ ارائه شده است. در این مدل فرض بر این است که دما زمانی انباشته می‌شود که دمای ساعتی (T_i) گستره‌هایی بین دمای پایه (T_b) و دمای بحرانی (T_c) داشته باشد و حداکثر انباشت دمایی در دمای بهینه (T_u) رخ می‌دهد.

$$GDH = \begin{cases} F \left(\frac{T_u - T_b}{2} \right) \left(1 + \cos \left(\pi + \pi \frac{T_i - T_b}{T_u - T_b} \right) \right), T_u \geq T_i \geq T_b \\ F (T_u - T_b) \left(1 + \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \frac{T_i - T_u}{T_c - T_u} \right) \right), T_c \geq T_i \geq T_u \\ 0, T_i > T_c \text{ or } T_i < T_b \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه فوق، F فاکتور تنش گیاه است. اگر تنش خاصی وجود نداشته باشد، معمولاً مقدار ۱ در نظر گرفته می‌شود. T_u ، T_c و T_b به ترتیب مقادیر ۴، ۲۵، و ۳۶ درجه سانتی‌گراد است که آندرسون (۱۹۸۶) آن را برای درختان میوه پیشنهاد کرده است (گیو و همکاران، ۲۰۱۴؛ لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳).

مدل ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵)

ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۴) یک درجه ساعت رشد GDH را به صورت یک ساعت در دمای ۱ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای پایه ۴/۵ درجه سانتی‌گراد تعریف کرده‌اند. GDH به وسیله کسر کردن ۴/۵ درجه سانتی‌گراد از هر ساعت دما بین ۴/۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌شود. همه دماهای بالاتر از ۲۵ درجه برابر با ۲۰/۵ درجه در نظر گرفته می‌شوند (ایکتچی و همکاران، ۲۰۱۴). تابع زیر از ریچاردسون و همکاران (۱۹۷۵) براساس دمای ساعتی ارائه شده است.

$$\begin{aligned} GDH &= 0.0 \text{ for } T < 4.5 \\ GDH &= (T - 4.5), \text{ for } 4.5 < T < 25 \\ GDH &= 20.5 \text{ for } T > 25 \end{aligned} \quad (3)$$

مدل‌های تعیین انباشت سرمایی

در این تحقیق از مدل‌های ساعات سرمایی (CH)، دماهای ساعتی از ۰ تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد، یوتا (Utah)، و دینامیکی (CP) برای محاسبه نیاز سرمایی استفاده شد. ورودی هر مدل انباشت سرمایی آمار دمای ساعتی است. آمار دمای هوا در سطح ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت سینوپ‌های سه‌ساعته برای هشت ساعت شبانه‌روز ثبت می‌شود. از آنجا که اساس مدل‌های برآوردکننده نیاز سرمایی براساس دمای هر ساعت بنا نهاده شده، لازم است این آمار سه‌ساعته به دمای ساعتی تبدیل شود. بدین منظور، از روش درون‌یابی خطی استفاده شده است. در روش درون‌یابی خطی، دمای سه ساعت قبل با دمای سه ساعت بعد با همدیگر جمع می‌شود و با تقسیم بر سه ساعت، سپس یک سوم به دمای قبلی افزوده می‌شود (غریبی، ۱۳۹۵: ۱۹۲). این شرایط برای هر دو سه ساعت قبل و بعد به طور مستقل انجام می‌شود.

مدل ساعات سرمایی CH

این مدل ساده‌ترین و قدیمی‌ترین روش محاسبه انباشت سرمایی است. تعداد ساعات سرمایی در زمان t (زمان از آغاز دوره رکود بر حسب ساعت) عبارت است از (زنگ و تیلور، ۲۰۱۱):

$$CH_t = \sum_{i=1}^t T_{v/2}, \quad T_{v/2} = \begin{cases} 0^\circ C < T < 7/2^\circ C & : 1 \\ \text{else} & : 0 \end{cases} \quad (4)$$

این مدل اولین بار برای درختان هلو در جرجیا در ایالات متحده آمریکا ارائه شده است. همه ساعات با دماهایی بین صفر تا $7/2$ درجه سانتی‌گراد به صورت مؤثر برای انباشت نیاز سرمایی استفاده می‌شود (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳).

مدل واحدهای سرمایی Utah

مدل یوتا (Utah) را ریچاردسون (۱۹۷۴) ارائه کرده است. این مدل، که به صورت یک تابع وزنی برای تعیین سرماهای اثربخش استفاده می‌شود، تأثیر منفی دماهای بالا بر روی تجمع سرمای زمستان را نیز محاسبه می‌کند. در این مدل دماهای پایین‌تر از $1/4$ درجه سانتی‌گراد هیچ ارزش سرمایی ندارند و از دماهای بین $1/4$ و $2/4$ درجه سانتی‌گراد ارزش سرمایی به وزن $0/5$ و دماهای بین $2/4$ تا $9/1$ درجه سانتی‌گراد ارزش سرمایی آن وزنی برابر با 1 و دماهای بین $9/1$ تا $12/4$ ارزش سرمایی آن وزنی برابر با $0/5$ و برای دماهای بین $15/9$ و 18 درجه سانتی‌گراد وزنی برابر با $-0/5$ را، که فاقد ارزش سرمایی بوده و از نظر فیزیولوژیکی اثربخشی ندارند، تعیین می‌کند. در این مدل تعداد ساعات سرمایی در زمان t از رابطه ۵ به دست می‌آید (ریچاردسون و همکاران، ۱۹۷۴):

$$UCU_t = \sum_{i=1}^t T_U, \quad T_U = \begin{cases} T_U = T < 1/4^\circ C & : 0 \\ 1/4^\circ C < T \leq 2/4^\circ C & : 0/5 \\ 2/4^\circ C < T \leq 9/1^\circ C & : 1 \\ 9/1^\circ C < T \leq 12/4^\circ C & : 0/5 \\ 12/4^\circ C < T \leq 15/9^\circ C & : 0 \\ 15/9^\circ C < T \leq 18^\circ C & : -0/5 \\ T \geq 18^\circ C & : -0/5 \end{cases} \quad (5)$$

مدل دینامیکی (سهم‌های سرمایی) CP

فیشمن و همکاران (۱۹۸۷) مدل دینامیکی برای تولید میوه را توسعه داده‌اند (لودلینگ و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل نتایج بهتری در آب و هواهای جنب حاره و معتدله گرم نشان می‌دهد (پررز و همکاران، ۲۰۰۸؛ ارز و همکاران، ۱۹۸۹؛ فیشمن و همکاران، ۱۹۸۷). مدل دینامیکی یکی از دقیق‌ترین مدل‌های بیولوژیکی ابداع شده است که در بیست منطقه از جهان آزمایش شده است. این مدل، سرما را بر مبنای دمای ساعتی اندازه‌گیری می‌کند و واحدهای انباشته شده را با نام سهم‌ها یا بخش‌های سرمایی CP^1 مشخص می‌کند (ارز و همکاران، ۱۹۹۰). ماهیت الگوی دینامیکی انباشت سرما در دو مرحله است که تأثیر منفی دماهای بالا و همچنین تداوم دماهای بحرانی را لحاظ می‌کند. در حالی که الگوهای دیگر انباشت سرما یک تابع تک‌مرحله‌ای هستند که با تجمع ساعاتها سرمایی عمل می‌کنند (ولاشدی و سبزی‌پرور، ۱۳۹۵: ۵۶۷).

در این مدل، که برای مناطقی با زمستان‌های نسبتاً گرم توسعه یافته است، در مرحله اول یک مقدار حد واسط از انباشت سرمایی در فرایندی که توسط دماهای سرد تسریع شده، انباشته می‌شود. در مرحله دوم این مقدار حد وسط انباشته شده به طور برگشت‌ناپذیری به بخش‌های سرمایی تبدیل می‌شود تا دماهای گرمی که رخ می‌دهد آن را تخریب

نکند. در واقع، این بخش‌هایی سرمایه‌ی در زمان رخداد دماهای گرم به صورت انباشته شده باقی می‌مانند و تا زمانی که سرماهای بعدی رخ بدهد ثابت و بدون تغییر باقی می‌مانند (داریبشر و همکاران، ۲۰۱۶؛ پاپ و همکاران، ۲۰۱۵). هر چند مدل دینامیکی به دلیل ساختار پیچیده به طور گسترده استفاده نمی‌شود، در مناطقی که فصل زمستان در بعضی مواقع دمای گرم اتفاق می‌افتد بسیار مفید است. مدل‌های ساعت سرمایه‌ی و یوتا یک فاکتور را اضافه یا ضرب می‌کنند و سپس هر یک از ساعات را با هم جمع می‌کنند. وقتی که مجموع این‌ها به مقدار مشخصی برسد، این مدل‌ها نشان می‌دهند که انباشت سرمایه‌ی تأمین شده است یا خیر. اما در مقابل مدل دینامیکی دماهایی را وارد محاسبه می‌کند که قبل و بعد از زمان خاصی قرار دارند. در این مدل طول دوره سرما و تناوب دمای بالا طی دوره سرما اهمیت زیادی دارد. مثلاً، دمای ۱۳ تا ۱۶ درجه در صورتی که با دمای پایین در تناوب قرار گیرد، ممکن است پاسخ گیاه را افزایش دهد. این اساس مدل دینامیک است (زنگ و تیلور، ۲۰۱۱). معادلات مربوط برای محاسبه تعداد سهم‌های سرمایه‌ی در زمان t عبارت است از:

$$x_i = \frac{e^{\frac{slp \cdot tetmlt \cdot T_k - tetmlt}{T_k}}}{1 + e^{\frac{slp \cdot tetmlt \cdot T_k - tetmlt}{T_k}}} \quad (6)$$

$$x_s = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot e^{\frac{e_1 - e_2}{T_k}} \quad (7)$$

$$\alpha k_1 = \alpha_1 \cdot e^{\frac{e_1}{T_k}} \quad (8)$$

$$\text{int } er_E = x_s - (x_s - \text{int } er_s) \cdot e^{-\alpha k_1} \quad (9)$$

$$\text{int } er_s = \begin{cases} t = t, & \dots \\ t > t, \text{ int } er_{E_{t-1}} < 1: \text{int } er_{E_{t-1}} \\ t > t, \text{ int } er_{E_{t-1}} \geq 1: \text{int } er_{E_{t-1}} \cdot (1 - X_i) \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{delt} = \begin{cases} t = t, & \dots \\ t > t, \text{ int } er_E < 1: \dots \\ t > t, \text{ int } er_E \geq 1: X_i \text{ int } er_E \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{chill portions}_t = \begin{cases} t = t, & \text{delt} \\ t \geq t, & \text{delt} + \text{chill portions}_{t-1} \end{cases} \quad (12)$$

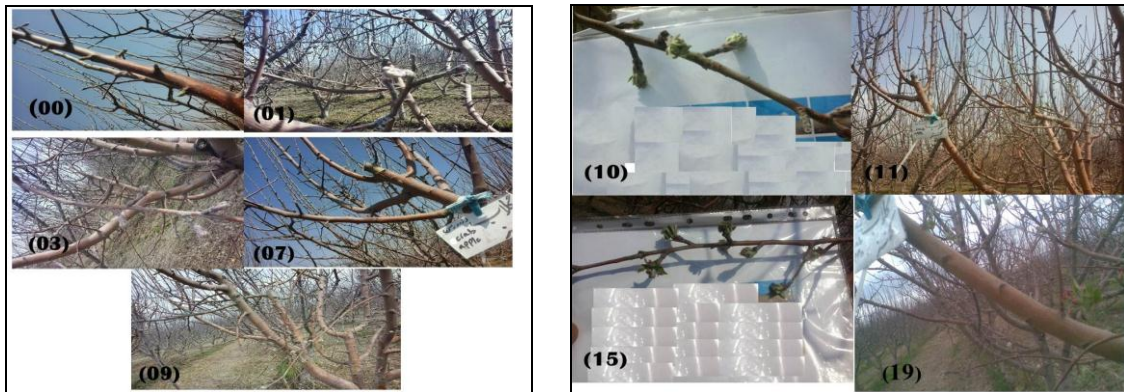
مقادیر عددی ثابت‌های slp ، $tetmlt$ ، α_1 ، α_2 ، e_1 و e_2 ، که به طور تجربی به دست آمده‌اند و در عملیات مربوط به باغبانی از آن‌ها استفاده می‌کنند، به ترتیب عبارت‌اند از: ۱/۶، ۲۷۷، ۱۳۹۵۰۰، $10^{18} \times 2/567$ ، ۴۱۵۳/۵، و ۱۲۸۸۸/۸ (لودلینگ و براون، ۲۰۱۱).

یافته‌های پژوهش

مراحل فنولوژی درخت سیب تابستانه گلاب کهنز

شکل ۲ مرحله اول (جوانه‌زنی) و مرحله دوم فنولوژی (نمو برگ) درخت سیب تابستانه گلاب کهنز را در مقیاس BBCH نشان می‌دهد. مرحله اول فنولوژی پنج کُد فرعی: کُد «۰۰» مرحله انتهایی رکود و آغاز تورم جوانه؛ کُد «۰۱» آغاز جوانه زنی؛ کُد «۰۳» انتهایی تورم جوانه؛ کُد «۰۷» آغاز ظهور جوانه؛ و کُد «۰۹» انتهایی ظهور جوانه را شامل می‌شود. مدت

زمان تکمیل این مرحله به مدت ۱۷ روز از ۲۳ فوریه تا ۱۱ مارس رخ می‌دهد. مرحله دوم فنولوژی با عنوان نمو برگ، چهار کُد فرعی: کُد «۱۰» اندازه جوانه برگ سبز تا ۱۰ میلی‌متر، کُد «۱۱» برگ‌های اولیه که باز نشده، کُد «۱۵» کامل نشدن بیشتر برگ‌ها و کُد «۱۹» برگ‌های اولیه در توسعه کامل را شامل می‌شود. این مرحله از دهه دوم مارس شروع می‌شود و تا دهه آخر ماه مارس به مدت دوازده روز به طول می‌انجامد.



شکل ۲. مرحله اول فنولوژیکی سیب تابستانه با عنوان نمو جوانه (شکل راست) و مرحله دوم با عنوان نمو برگ (شکل چپ) (مأخذ: نگارندگان)

مراحل سوم و چهارم فنولوژی درخت سیب به ترتیب با نام ظهور گل‌آذین و گل‌دهی با هشت کُد فرعی در مقیاس BBCH در شکل ۳ مشخص شده است. در مرحله ظهور گل‌آذین: کُد «۵۱» تورم جوانه گل‌آذین؛ کُد «۵۲» انتهای تورم گل‌آذین و ظهور گل؛ کُد «۵۳» تورم جوانه گل؛ کُد «۵۴» جوانه برگ سبز بالاتر از ۱۰ میلی‌متر؛ کُد «۵۵» ظهور جوانه گل به صورت بسته؛ کُد «۵۶» جوانه گل در حال جداسازی؛ کُد «۵۷» جوانه صورتی و مشاهده گلبرگ‌ها؛ کُد «۵۹» بیشتر گل‌ها و گلبرگ‌ها به شکل توپ را شامل می‌شود. این مرحله به صورت متوالی از ابتدای دهه سوم ماه مارس تا اوایل آوریل به مدت یک دهه به طول می‌انجامد. در مرحله گل‌دهی: کُد «۶۰» باز شدن گل‌ها؛ کُد «۶۱» آغاز گل‌دهی (باز شدن ۱۰ درصد گل‌ها)؛ کُد «۶۲» باز شدن حدود ۲۰ درصد گل‌ها؛ کُد «۶۳» باز شدن حدود ۳۰ درصد گل‌ها؛ کُد «۶۴» باز شدن حدود ۴۰ درصد گل‌ها؛ کُد «۶۵» باز شدن ۵۰ درصد گل‌ها (شروع ریزش گلبرگ‌ها)؛ کُد «۶۶» محو شدن گل‌ها (ریزش اکثریت گل‌ها)؛ و کُد «۶۹» انتهای گل‌دهی و ریزش بیشتر گل‌ها را شامل می‌شود. مرحله گل‌دهی به مدت ده روز از اوایل آوریل تا آخر دهه اول آوریل به مدت ده روز طول می‌کشد.

مرحله پنجم فنولوژی درخت سیب با نام نمو میوه با ۹ کُد فرعی و مرحله ششم با نام بلوغ میوه و بذر با چهار کُد فرعی در شکل ۴ مشخص شده است. در مرحله فنولوژی نمو میوه: کُد «۷۱» اندازه میوه تا ۱۰ میلی‌متر و ریزش اولیه میوه؛ کُد «۷۲» ریزش ثانویه میوه؛ کُد «۷۳» قطر میوه برابر با ۴۰ میلی‌متر؛ کُد «۷۴» رسیدن میوه به حدود نیمی از اندازه نهایی؛ کُد «۷۵» مرحله به حدود ۶۰ درصد اندازه نهایی؛ کُد «۷۶» رسیدن میوه به حدود ۷۰ درصد اندازه نهایی؛ کُد «۷۷» رسیدن میوه به حدود ۸۰ درصد اندازه نهایی؛ کُد «۷۸» رسیدن میوه به حدود ۹۰ درصد اندازه نهایی؛ و کُد «۷۹» میوه در اندازه نهایی را شامل می‌شود. این مرحله فنولوژی از ابتدای دهه دوم ماه آوریل تا دهه اول ژوئن به مدت شصت روز به طول می‌انجامد. در مرحله فنولوژیکی بلوغ میوه و بذر: کُد «۸۱» رسیدن میوه؛ کُد «۸۵» میوه رسیده قابل برداشت؛ کُد «۸۷» میوه رسیده برای برداشت نهایی؛ و کُد «۸۹» برداشت کامل میوه را شامل می‌شود. این مرحله فنولوژی از ابتدای دهه دوم ماه ژوئن تا آخر ژوئن به مدت بیست روز به طول می‌انجامد.

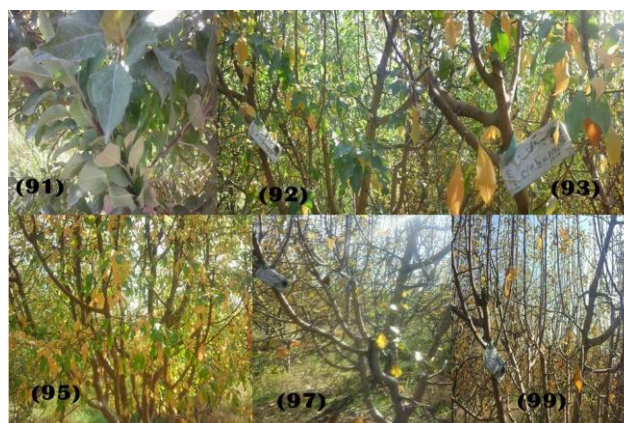


شکل ۳. مرحله سوم فنولوژیکی با عنوان ظهور گل‌آذین (شکل راست) و مرحله چهارم فنولوژی با عنوان گل‌دهی (شکل چپ)
(مأخذ: نگارندگان)



شکل ۴. مرحله پنجم فنولوژی با عنوان نمو میوه (شکل راست) و مرحله ششم فنولوژی با عنوان بلوغ میوه و بدر (شکل چپ)
(مأخذ: نگارندگان)

مرحله آخر فنولوژی درخت سیب تابستانه یا مرحله هفتم با نام آغاز رکود شش کُد فرعی BBCH را شامل می‌شود. کُد «۹۱» کامل شدن رشد شاخه و جوانه نهایی؛ کُد «۹۲» آغاز تغییر رنگ برگ‌ها؛ کُد «۹۳» آغاز ریزش برگ‌ها؛ کُد «۹۵» تغییر رنگ ۵۰ درصد گل‌ها؛ کُد «۹۷» ریزش همه برگ‌ها؛ و کُد «۹۹» ریزش کامل و آغاز رکود را شامل می‌شود. این مرحله فنولوژی از اوایل اکتبر تا اواخر اکتبر و اوایل نوامبر به مدت یک ماه به طول می‌انجامد.



شکل ۵. مرحله آخر فنولوژیکی سیب تابستانه با نام آغاز رکود (مأخذ: نگارندگان)

نتایج مشاهدات میدانی نشان داد که فصل رشد درخت سیب تابستانه از اوایل ماه مارس تا اواخر اکتبر و نوامبر به مدت ۱۳۲ روز به طول می‌انجامد. کمترین دماها را در مرحله نمو جوانه و جوانه‌زنی و بالاترین دما در مرحله بلوغ میوه و بذر نیاز دارد. کوتاه‌ترین مرحله فنولوژی به مدت سیزده روز در مرحله اول فنولوژیکی برای نمو جوانه و جوانه‌زنی تا مرحله نمو برگ رخ می‌دهد و طولانی‌ترین مرحله فنولوژیکی در مرحله نمو میوه به مدت شصت روز رخ می‌دهد.

انباشت گرمایی منطقه در طول مراحل فنولوژی سیب تابستانه

نتایج انباشت گرمایی براساس آمار بلندمدت دمای ساعتی و روزانه و کاربست مدل‌های مختلف برای درخت سیب تابستانه گلاب کهز در جدول ۱ مشخص شده است. درخت سیب تابستانه کمترین درجه روز مؤثر در مرحله نمو جوانه و جوانه‌زنی به میزان ۹٫۸ درجه روز و بالاترین درجه روزها را در مرحله نمو میوه به میزان ۱۰۱۱ درجه روز نیاز دارد. کل درجه روز رشد مؤثر برای رشد و نمو درخت سیب زودرس ۲۲۲۳ درجه روز رشد است. بالاترین میزان درجه روز فعال را در مرحله نمو میوه نیاز دارد. کل درجه روز فعال برای فصل رشد درخت سیب زودرس ۳۰۲۶ درجه روز فعال است. هر منطقه‌ای که این میزان درجه روز رشد مؤثر و فعال در آن رخ بدهد قابلیت کاشت درخت سیب تابستانه را داراست. درجه ساعت‌های رشد، با نام نیاز گرمایی درختان میوه، از پایان رکود یا خواب تا گل‌دهی کامل (زمانی که پنجاه درصد گل‌ها باز شده باشد) در نظر گرفته می‌شود (ریوز، ۲۰۰۷؛ آگا و همکاران، ۲۰۰۳). در اقلیم کرج، براساس آمار بلندمدت ساعتی از پایان رکود (زمانی که پنجاه درصد جوانه‌ها متورم شده باشند) درخت سیب تابستانه گلاب کهز تا گل‌دهی کامل (زمانی که ۵۰ درصد گل‌ها باز شده باشند) براساس مدل اندرسون و همکاران ۷۲۰۳ درجه ساعت رشد GDH و براساس مدل ریچاردسون و همکاران ۱۲۰۸۶ درجه ساعت رشد نیاز برآورد شد. این نتایج با مطالعات ریوز و همکاران (۲۰۰۷) از نظر میزان درجه ساعت‌های رشد همخوانی دارد. بنا بر نتایج به‌دست‌آمده و همچنین نتایج آگا و همکاران (۲۰۰۳)، درختان سیب، با توجه به اینکه یک نیاز گرمایی بالایی در بین درختان میوه خزان‌کننده دارند، از نیاز گرمایی بالایی نیز برای گل‌دهی برخوردارند. بنابراین، در مناطقی که این میزان انباشت گرمایی در قالب درجه ساعت‌های رشد به‌دست آمد، آن منطقه از نظر اقلیمی برای کاشت درخت سیب تابستانه زودرس مناسب است.

جدول ۱. انباشت گرمایی مراحل فنولوژی سیب تابستانه گلاب کهز در شرایط اقلیمی کرج

مرحله رشد	درجه روزهای رشد مؤثر	درجه روزهای رشد فعال	درجه ساعت‌های رشد (مدل اندرسون)	درجه ساعت‌های رشد (مدل ریچاردسون)
نمو جوانه و جوانه‌زنی	۹٫۸	۷۴٫۸	۳۲۵	۱۳۱۷
نمو برگ	۶۴٫۸	۶۷٫۸	۱۶۰۵	۱۸۳۶
ظهور گل‌آذین	۶۷٫۸	۱۲۷	۱۶۰۵	۲۹۴۵
گل‌دهی	۱۵۳	۲۲۳	۳۶۶۸	۵۹۸۸
نمو میوه	۱۰۱۱	۱۳۳۱	-	-
بلوغ میوه و بذر	۳۸۶	۴۷۱	-	-
آغاز رکود	۵۳۲	۷۴۲	-	-
مجموع	۲۲۲۳٫۷	۳۰۲۶٫۶	۷۲۰۳	۱۲۰۸۶

انباشت سرمایی منطقه براساس مدل‌های (CH)، (Utah)، و (CP)

نتایج انباشت سرمایی دوره رکود یا خواب در ایام سرد سال با استفاده از آمار طولانی‌مدت دمای ساعتی و کاربست مدل‌های ساعات سرمایی (CH)، یوتا (Utah)، و دینامیکی (CP) در جدول ۲ مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که از نظر زمانی در ایام سرد سال بیشترین انباشت سرمایی در ماه‌های دسامبر، ژانویه، و فوریه رخ می‌دهد. در ماه‌های اکتبر و نوامبر انباشت سرمایی کمتری مشاهده شد. براساس مدل ساعات سرمایی، مجموع انباشت سرمایی ۱۰۴۱ ساعت، براساس مدل یوتا ۱۷۱۶ واحد سرمایی، و براساس مدل دینامیکی ۷۶ سهم سرمایی در دوره رکود در اقلیم کرج رخ می‌دهد. این انباشت سرمایی برای وارسته‌های زودرس سیب مناسب است؛ اما برای وارسته‌های دیررس کفایت نمی‌کند.

جدول ۲. انباشت سرمایی منطقه در دوره رکود

مجموع	تا ۲۳ فوریه	ژانویه	دسامبر	نوامبر	از ۲۰ اکتبر	
۱۰۴۱	۲۴۲	۲۹۰	۳۲۰	۱۴۵	۲۲	CH ساعات سرمایی
۱۷۱۶	۴۲۰	۴۲۰	۴۱۰	۴۱۰	۵۶	Utah واحد‌های سرمایی
۷۶	۱۵	۲۰	۲۱	۱۸	۲	CP سهم سرمایی

روند تغییرات دمای ساعتی ایام سرد یا دوره رکود

دمای هوا در ایام سرد سال برای تأمین سرمای لازم برای درختان میوه خزان‌کننده حیاتی است. هر گونه تغییرات در وضعیت دمای هوا در ایام سرد سال تأثیر جدی در عملکرد درختان میوه می‌گذارد. در این راستا، با استفاده از آزمون ناپارامتری من- کندال روند دمای ساعتی در ۲۴ ساعت شبانه‌روز به صورت ساعت‌های جداگانه، از ماه اکتبر تا ماه مارس، در جدول‌های ۳ تا ۵ مشخص شده است. نتایج نشان داد که در ماه‌های اکتبر تا دسامبر روند معنی‌داری در دمای ساعتی مشاهده نشد. اما در ماه ژانویه از ساعت ۱۷ عصرگاهی تا ساعت ۲۲ شب، روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ مشاهده شد.

در ماه فوریه در ساعات «۰۰» بامداد تا ۴ صبح، ۲۰، ۲۱، و ۲۳ شب روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌داری مشاهده شد. در ساعت ۲۲ شب این روند افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شد. در واقع، در ماه فوریه دماهای کمینه در ساعات شبانه و صبحگاهی از روند افزایشی معنی‌داری برخوردارند.

در ماه مارس بیشترین ساعات روند افزایشی در دمای هوا مشاهده می‌شود. در ساعات «۰۰» بامداد و ۸ شب روند افزایشی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار مشاهده شد. در ساعات ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، و ۶ بامداد تا صبحگاهی روند افزایش دمای ساعتی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. در ساعات ۱۲ ظهر تا ۵ عصر و همچنین ساعات ۸ و ۱۱ شب روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار مشاهده شد.

بررسی آمار بلندمدت دمای ساعتی نشان داد که روند افزایشی قابل توجهی در دمای‌های شبانه و به‌خصوص دماهای کمینه شبانه وجود دارد. این روند افزایشی دمای هوا در انتهای دوره سرد سال از یک طرف موجب کاهش نیاز سرمایی درختان خزان‌کننده به‌خصوص درخت سیب می‌شود، چون که بخش اعظمی از نیاز سرمایی این درختان در نیمه دوم زمستان تأمین می‌شود. از طرف دیگر، موجب تحریک و ظهور زود هنگام مراحل فنولوژی درختان سیب خواهد شد. تورم

جوانه و گل‌دهی زود هنگام در ماه مارس به دلیل روند افزایشی دمای ساعتی ریسک سرما و یخبندان‌های دیررس بهاره را همراه خواهد داشت.

جدول ۳. نتایج روند تغییرات سری زمانی دمای ساعتی ماه ژانویه از ساعت ۱۲ ظهر تا ۲۳ نیمه‌شب در اقلیم کرج

ساعت	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
آماره Z	-	-	-	-	-	*۲/۱۴	*۲/۲	*۲/۱	*۲/۱	*۱/۹۸	*۲	-

* معنی‌داری در سطح ۵٪

جدول ۴. نتایج روند تغییرات سری زمانی دمای ساعتی ماه فوریه از ساعت «۰۰» نیمه‌شب تا ۲۳ شب در اقلیم کرج

ساعت	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
آماره Z	*۲/۱	*۲/۱	*۲/۱	*۱/۹۷	*۱/۹۹	-	-	-	-	-	-	-
ساعت	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
آماره Z	*۲/۴۰	*۲/۱	*۲/۱	*۲/۱	*۲/۱	*۲/۴	*۲/۶	*۲/۴۰	*۲/۱	*۲/۱	*۲/۶	*۲/۴

* معنی‌داری در سطح ۵٪

** معنی‌داری در سطح ۱٪

جدول ۵. نتایج روند تغییرات سری زمانی دمای ساعتی ماه مارس از ساعت «۰۰» نیمه‌شب تا ۱۱ قبل از ظهر در اقلیم کرج

ساعت	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
آماره Z	*۲/۶	*۲/۵	*۲/۵	*۲/۵	*۲/۳	*۲/۲	*۲/۱	-	-	-	-	-
ساعت	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲	۲۳
آماره Z	*۲/۱۷	*۲/۱	*۲	*۲/۱	*۲/۵	*۲/۱	-	-	*۲/۶	-	-	*۲/۵

* معنی‌داری در سطح ۵٪

** معنی‌داری در سطح ۱٪

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با رهیافتی میدانی- آماری با هدف شناسایی مراحل فنولوژی و آستانه‌های دمایی درخت سیب تابستانه و انباشت گرمایی و سرمایی در شرایط اقلیمی کرج واکاوی شد. نتایج نشان داد که هفت مرحله فنولوژی اصلی در مقیاس BBCH در درخت سیب تابستانه رخ می‌دهد و طول فصل رشد سیب زودرس ۱۳۲ روز طول می‌کشد. خروجی مدل‌های تعیین انباشت سرمایی براساس آمار دمای ساعتی بلندمدت در ایستگاه کرج نشان داد که انباشت سرمایی درخت سیب تابستانه رقم زودرس در اقلیم کرج به قدر کفایت تأمین می‌شود. بیشترین انباشت سرمایی در دوره رکود در ماه‌های دسامبر، ژانویه، و فوریه رخ می‌دهد. براساس کاربست مدل‌های درجه رشد مؤثر و فعال درخت سیب تابستانه به ترتیب ۲۲۲۳ و ۳۰۲۶ و براساس مدل‌های اندرسون و ریچاردسون به ترتیب ۷۲۰۳ و ۱۲۰۸۶ درجه ساعت‌های رشد نیاز دارد. نتایج انباشت سرمایی می‌تواند الگویی برای دیگر درختان خزان‌کننده مشابه مانند گلابی و به باشد. توان اقلیمی منطقه انباشت سرمایی وارسته‌های زودرس را تأمین می‌کند؛ اما برای وارسته‌های دیررس با نیاز بالا محدودیت دارد. از نظر انباشت گرمایی، محدودیت خاصی برای درختان سیب و دیگر درختان مشابه وجود ندارد.

نتایج روند تغییرات دمای ساعتی ایام سرد سال برابر با دوره رکود درختان میوه در منطقه مورد مطالعه نشان داد که دمای هوا در انتهای فصل زمستان به‌خصوص ماه‌های فوریه و مارس از روند افزایشی برخوردار است. این روند افزایشی در ساعات شبانه و صبحگاهی، که کمینه‌های دمایی رخ می‌دهد، بیشتر رخ می‌دهد. این افزایش معنی‌دار در دماهای ساعتی ایام سرد سال و دوره رکود درختان میوه از یک طرف موجب کاهش انباشت سرمایی درختان سیب و دیگر درختان مشابه خواهد شد و از طرف دیگر با تسریع ظهور زود هنگام مراحل فنولوژی جوانه‌زنی و گل‌دهی در انتهای فصل

سرد، ریسک سرما و یخبندان احتمالی را به همراه خواهد داشت. بنابراین، اتخاذ تصمیمات لازم برای مقابله با خطر اقلیمی سرما و یخبندان حائز اهمیت است.

نتایج نهایی تحقیق نشان داد که شرایط دمایی مهم‌ترین نیاز اقلیمی درختان میوه به‌شمار می‌رود و با هر گونه تغییر دمایی، درختان میوه شدیداً واکنش نشان می‌دهند. استفاده از آمار دمای ساعتی و روزانه برای سنجش توان سرمایی و گرمایی در جهت انتخاب گونه‌های سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه به منظور جلوگیری از هدررفت سرمایه و منابع حائز اهمیت است.

منابع

- آمارنامه محصولات باغی (۱۳۹۲). معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.
- رضایی، م. (۱۳۹۱). برآورد نیازهای دمایی شش رقم تجاری زردآلوی منطقه شاهرود در شرایط آزمایشگاهی و مزرعه‌ای، مجله به زراعی کشاورزی، ۱۴(۱): ۳۲-۲۱.
- روشن، غ. (۱۳۸۶). بررسی آگروکلیمایی نواحی سازگار با کشت زیتون (*Olea europaea L.*) در ایران، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- سبزی‌پرور، ع.ا. و شادمانی، م. (۱۳۹۰). تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۴): ۸۳۴-۸۲۳.
- خوشحال، ج.؛ رحیمی، د. و مجد، م. (۱۳۹۲). تعیین مراحل فنولوژی و محاسبه نیازهای حرارتی گل محمدی منطقه برزگ کاشان، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۵۲(۴): ۱۶۹-۱۷۸.
- غریبی، خ. (۱۳۹۵). مدیریت ریسک و بیمه باغبانی (نمونه الگویی: زیتون، موز، و انبه)، تهران: انتشارات پژوهشکده بیمه.
- ولاشدی، ر.ن. و سبزی‌پرور، ع.ا. (۱۳۹۵). ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمایی زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای پدیده شناختی درخت سیب در ارومیه، علوم باغبانی ایران، ۴۷(۳): ۵۶۱-۵۷۰.
- Anderson, J.L.; Richardson, E.A. and Kesner, C.D. (1985). Validation of chill unit and flower bud phenology models for Montmorency sour cherry, In I International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 184: 71-78.
- Bishnoi, O.P. (2010). Applied Agro climatology, Oxford Book Company Publisher, London.
- Campoy, J.A.; Ruze, D.; Allderman, L.; Cook, N. and Egea, J. (2012). The fulfilment of chilling requirements and the daptation of apricot (*Prunus armeniaca L.*) in warm winter climates: An approach in Murcia (Spain) and the Western Cape (South Africa), Europ Journal Agronomy, 37: 43-55.
- Cesaraccio, C.; Spano, D.; Duce, P. and Snyder, R.L. (2001). An improved model for determining degree-day values from daily temperature data, International Journal of Biometeorology, 45(4): 161-169.
- Cesaraccio, C.; Spano, D.; Snyder, R.L. and Duce, P. (2004). Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species, Agricultural and Forest Meteorology, 126(1): 1-13.
- Cornelius, C.; Petermeier, H.; Estrella, N. and Menzel, A. (2011). A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording, International journal of biometeorology, 55 (6): 867-877.
- Darbyshire, R.; Pope, K. and Goodwin, I. (2016). An evaluation of the chill overlap model to predict flowering time in apple tree, Scientia Horticulturae, 198: 142-149.
- Darbyshire, R.; Webb, L.; Goodwin, I. and Barlow, S. (2011). Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia, Agricultural and forest meteorology, 151(8): 1074-1085.
- Egea, J.; Ortega, E.; Martínez-Gómez, P. and Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering, Environmental and Experimental Botany, 50(1):79-85.
- Erez, A. (Ed.). (2013). Temperate fruit crops in warm climates, Springer Science & Business Media.
- Erez, A. and Fishman, S. (1997). The dynamic model for chilling evaluation in peach buds, In IV International Peach Symposium, 465: 507-510.

- Erez, A.; Fishman, S.; Linsley-Noakes, G.C. and Allan, P. (1989). The dynamic model for rest completion in peach buds, In II International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management, 276: 165-174.
- Fadón, E.; Herrero, M. and Rodrigo, J. (2015). Flower development in sweet cherry framed in the BBCH scale, *Scientia Horticulturae*, 192: 141-147.
- Farajzadeh, M.; Rahimi, M.; Kamali, G.A. nad Mavrommatis, T. (2010). Modelling apple tree bud burst time and frost risk in Iran, *Meteorological Applications*, 17(1): 45-52.
- Ferree, D.C. and Warrington, I.J. (2003). Apples: botany, production and uses, CABI publishing. London, UK.
- Fishman, S.; Erez, A. and Couvillon, G.A. (1987). The temperature-dependence of dormancy breaking in plants—computer-simulation of processes studied under controlled temperatures, *Journal of Theoretical Biology*, 126(3): 309-321.
- Garden crops statistical letter (2013). Department of Economic and Planning, Islamic republic of Iran, Ministry of Agriculture – Jihad, Iran, Tehran.
- Gharibi, Kh. (2016). Risk management & Orchard Insurance (Typical Patterns: Olive, Banana, Mango), Insurance Publisher, Tehran.
- Gue, L.; Dai, J.; Ranjitkar, S. and Yu, H. (2014). Chilling and heat requirements for flowering in temperate fruit trees, *International journal of biometeorology*, 58: 1195-1206.
- Ikinci, A.; Mamay, M. Unlu, L.; Bolat, I. and Ercisli, S. (2014). Determination of Heat Requirements and Effective Heat Summations of Some Pomegranate Cultivars Grown in Southern Anatolia, *Erwerbs-Obstbau*, 56(4): 131-138.
- Jackson, D. and Looney, N.E. (Eds.). (1999). Temperate and subtropical fruit production, CABI publishing. London, UK.
- Khoshhal, J.; Rahimi, D. and Majd, M. (2014). Analyzing the phenological growth stages and required temperature rate of Gole Mohammadi, *Geography and Environmental Planning Journal*, 52(4):169-178.
- Luedeling, E.; Kunz, A. and Blanke, M.M. (2013). Identification of chilling and heat requirements of cherry trees—a statistical approach, *International Journal of Biometeorology*, 57(5): 679-689.
- Luedeling, E. and Brown, H.P. (2011). A global analysis of the comparability of winter chill models for fruit and nut trees, *International Journal of Biometeorology*, 55: 411-421.
- Maulión, E.; Valentini, G.H.; Kovalevski, L.; Prunello, M.; Monti, L.L.; Daorden, M.E.; Quaglino, M. and Cervign, G.D.L.C. (2014). Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering, *Sci. Hort.*, 177: 112-117.
- McMaster, G.S. and Wilhelm, W.W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 87(4):291-300.
- Pérez, F.J.; Ormeno, N.; Reynaert, B. and Rubio, S. (2008). Use of the dynamic model for the assessment of winter chilling in a temperate and a subtropical climatic zone of Chile, *Chilean journal of agricultural research*, 68(2): 198-206.
- Pope, K.S.; Dose, V.; Da Silva, D.; Brown, P.H. and DeJong, T.M. (2015). Nut crop yield records show that budbreak-based chilling requirements may not reflect yield decline chill thresholds, *International journal of biometeorology*, 59(6): 707-715.
- Rea, R. and Eccel, E. (2006). Phenological models for blooming of apple in a mountainous region, *Int of Biometeorology*, 51: 1-16.

- Rezaie, M. (2012). Evaluation of temperature requirements of six apricot cultivars under lab and field conditions in Shahrood, *Journal of Crops Improvement*, 14(1): 21-32.
- Richardson E.A.; Seeley, S.D. and Walker, D.R. (1974). A model for estimating the completion of rest for "Redhaven" and "Elberta" Peach Trees, *Hort Science*, 9: 331-332.
- Roshan, A.A.(2007). Agroclimate assessment of adaptable regions with (*Olea europaea* L.) olive cultivation in Iran, Ph. D. Thesis, Faculty of Geography, University of Tehran.
- Ruiz, D.; Campoy, J.A. and Egea, J. (2007). Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering, *Environmental and Experiment Botany*, 61: 254-263.
- Sabziparvar, A.A. and Shadmani, M. (2011). Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann- Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran, *Journal of Water and Soil*, 25(4): 823-834.
- Severino, V.; Gravina, A.; Manzi, M. and Arias, M. (2007). Models for Quantifying Effective Winter Chill on Apple Endodormancy, In VIII International Symposium on Temperate Zone Fruits in the Tropics and Subtropics, 872: 113-120.
- Valashedi, R.N. and Sabziparvar, A.A. (2016). Evaluation of winter chill requirement models using the observed apple tree phenology data in Kahriz (Urmia, Iran), *Iran Horticultural Sciences*, 47(3): 561-570.
- Valentini, N.; Me, G.; Ferrero, R. and Spanna, F. (2001). Use of bioclimatic indexes to characterize phenological phases of apple varieties in Northern Italy, *International journal of biometeorology*, 45(4):191-195.
- Weinberger, J.H. (1950). Chilling requirements of peach varieties, *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.*, 56: 122-128.
- Zhang, J. and Taylor, C. (2011). The dynamic model provides the best description of the chill process on 'Sirora' pistachio trees in Australia, *HortScience*, 46(3):420-425.